

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
декан физического факультета  
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

**Фундаментальная астрометрия**

по направлению подготовки

**03.03.02 Физика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**«Фундаментальная физика»**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Бакалавр**

Год приема  
**2023**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

Томск – 2023

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

ПК-1 Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 2.2 Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования

ИПК 1.1 Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования

## **2. Задачи освоения дисциплины**

Сформировать у студента стойкие знания фундаментальных понятий, задач и методов астрометрии как науки, изучающей геометрические и кинематические характеристики Вселенной, а также умение пользоваться методами астрометрии на практике.

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Шестой семестр, зачет с оценкой

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Математический анализ, линейная алгебра и аналитическая геометрия.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

– лекции: 16 ч.;

– практические занятия: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

Тема 1. Предмет астрометрии

Место астрометрии в астрономии, объекты астрометрии, основные темы астрометрии. Астрометрическая техника и методы

Тема 2. Астрономические системы координат.

Сферические системы астрономических координат, взаимосвязь между ними. Теоретические и опорные системы отсчета. Установление пространственно-временной опорной системы отсчета в виде каталога опорных звезд. Установление системы отсчета, связанной с внегалактическими радиоисточниками.

#### Тема 3. Шкалы времени

Солнечное время, системы Всемирного времени и неравномерность вращения Земли. Местное, поясное и декретное время. Звездное время, эфемеридное время, атомное время. Динамические шкалы времени, пульсарная шкала времени. Системы счета дней, летосчисление.

#### Тема 4. Измерение времени

Хронометрия, лазеры. Глобальная система позиционирования — GPS. Радиолокация планет.

#### Тема 5. Практическая астрометрия

Астрономические инструменты. Коуровская астрономическая обсерватория, космические телескопы.

#### Тема 6. Практические задания

Знакомство с обсерваторией ТГУ, проведение наблюдений. Выполнение лабораторной работе по обработке снимков.

### 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, практических занятий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Тема лабораторной работы: обработка ПЗС-снимков в программе IZMCCD.

Примеры задач.

1. Суточный параллакс Солнца  $p_0=8''.8$ , а видимый угловой радиус Солнца  $r_Q = 16' 01''$ . Во сколько раз радиус Солнца больше радиуса Земли?
2. Чему равен угловой диаметр Солнца, видимый с Плутона? Расстояние от Солнца до Плутона считать равным 40 а.е.
3. Какая из двух планет – Нептун (большая полуось  $a = 30.07$  а. е., эксцентриситет  $e = 0.008$ ) или Плутон ( $a = 39.52$  а. е.,  $e = 0.253$ ) подходит ближе к Солнцу?
4. Диаметр Апофиса 370 м, альbedo – 0.23. 13 апреля 2029 года Апофис пройдет на расстоянии 38304 км от геоцентра. Найдите его абсолютную и видимую звездную величину (без учета фазы)
5. Посчитать абсолютные звездные величины Солнца и Веги.
6. Для планет Солнечной системы посчитать угловое расстояние от Солнца и звездную величину с Проксимы Центавра.
7. В Орле по часам, идущим по киевскому звездному времени, в  $4^h48^m$  наблюдалась верхняя кульминация Капеллы ( $\alpha = 5^h10^m$ ). Какова разность долгот этих двух городов?

### 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой проводится в устной форме по билетам. Билет содержит теоретический вопрос и задачу. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Что такое астрометрия?
2. Основные задачи астрометрии
3. Параллакс
4. Квазар
5. Основные разделы астрометрии
6. ПВСК
7. ПВСО

8. Классические астрометрические инструменты
9. Теоретическая система отсчета
10. Опорная система отсчета
11. Фундаментальные астрономические постоянные
12. Система астрономических постоянных (определение)
13. Современная система астрономических постоянных
14. Фундаментальный каталог (определение)
15. Современный фундаментальный каталог
16. ICRF, ICRF2
17. HCRF
18. Эфемеридное время
19. Основные задачи, которые необходимо решить при реализации опорной системы
20. Наблюденная система координат
21. Переход от фундаментальной системы координат к инерциальной
22. Свойства опорной системы, необходимые для удовлетворения нужд современной науки
23. Характеристики фундаментального каталога, подходящего для создания опорной системы
24. Какую роль играет небесная сфера при наблюдении и измерении положений светил?
25. В чем отличие видимых топоцентрических, геоцентрических и гелиоцентрических положений небесных объектов?
26. Почему изменяется положение земной оси в пространстве относительно звезд. Каков характер этого движения?
27. Что такое эклиптика и в каком направлении наблюдается видимое движение Солнца по ней?
28. Какое обозначение имеют точки осеннего и весеннего равноденствия и почему?
29. Физический смысл точек осеннего и весеннего равноденствия
30. Что такое астрономическая широта?
31. Что такое плоскость горизонта и полуденная линия в данной точке земного сфероида?
32. Что такое кульминация светил?
33. От чего зависит разность высот светил в моменты обоих кульминаций?
34. Тропический год
35. Плоскость небесного меридиана
36. Вертикал и круг склонения светила
37. Главные направления и плоскости в различных системах координат
38. Координаты в различных системах координат
39. Звездное время
40. Параллактический треугольник
41. Астрономический треугольник
42. Абсолютная и видимая звездная величина для звезд и тел Солнечной системы
43. Местное истинное солнечное время
44. Истинные солнечные сутки
45. Среднее эклиптическое Солнце
46. Среднее экваториальное Солнце
47. Средние солнечные сутки
48. Уравнение времени
49. Всемирное время
50. UTC
51. Местное среднее время

52. Декретное время
53. Московское время
54. Звездное время
55. Звездные сутки
56. Эфемеридное время
57. Шкала атомного времени, атомная секунда
58. Юлианская дата
59. Тропический год
60. Звездный год
61. Хронометрия
62. Осциллятор
63. Кварцевые часы
64. Атомный стандарт частоты
65. Шкала времени
66. Мазер
67. Международное атомное время
68. Лазер
69. Лазерная дальномерная система
70. Перечислите известные вам глобальные навигационные системы
71. Назовите два различных способа применения радиолокации планет
72. Пульсар
73. Древние астрономические обсерватории
74. Старинные астрономические инструменты и инструменты навигации
75. Кто и когда изобрел оптический телескоп?
76. Рефрактор
77. Рефлектор
78. Катадиоптрические телескопы
79. Крупнейшие современные телескопы
80. Самый большой в мире наземный радиотелескоп
81. Коуровская астрономическая обсерватория
82. Космические телескопы
83. Разрешение телескопа

Примеры задач:

Задача 1. Годичный параллакс ближайшей к Солнцу звезды – Проксима Центавра – равен  $768.7 \pm 0.3$  mas. Определить расстояние до нее в парсеках, астрономических единицах и световых годах, оценить, как погрешность в измерении параллакса влияет на погрешность в измерении расстояний.

Задача 2. Оцените наименьшее расстояние от Земли до Венеры и определите ее суточный параллакс в этот момент.

Задача 3. Определите диаметр звезды Проксима Центавра в километрах при видимом угловом диаметре  $0.001''$ . Годичный параллакс Проксима Центавра равен  $768.7 \pm 0.3$  mas.

Задача 4. Эксцентриситет орбиты Земли  $e = 0.017$ . Определите угловой радиус Солнца в перигелии и афелии. Радиус Солнца примерно равен 700 тыс км

Задача 5. С́ириус (лат. Sirius), также  $\alpha$  Большого Пса (лат.  $\alpha$  Canis Majoris) — звезда созвездия Большого Пса. Ярчайшая звезда ночного неба. Видимый блеск  $-1.46m$ .

Задача 6. В Поясе Койпера на одинаковом расстоянии от Солнца движутся два сферических объекта. Объект №1 имеет диаметр 200 км и альбедо равное 0.6. Объект №2 – диаметр 300 км и альбедо 0.5. Какой из них для земного наблюдателя будет выглядеть ярче и на сколько звездных величин?

Задача 7. Полное затмение Солнца должно было произойти в пункте с долготой  $\lambda = 2^{\text{h}}30^{\text{m}}$  в 9h 27m гринвичского времени. Уравнение времени в этот день было  $\eta = -9^{\text{m}}$ . Произошло ли затмение до момента истинного полудня?

$m = UT + \lambda - \eta = 12^{\text{h}}6^{\text{m}}$  после полудня

Задача 8. Часовой угол светила  $t = 68^{\circ}$ . Когда оно прошло свою ВК?

Задача 9. Часовой угол светила  $t = 68^{\circ}$ . Через какое время оно достигнет нижней кульминации?

Задача 10. Можно ли в Томске увидеть Проксиму Центавра?

Прямое восхождение 14ч 29м 43,00с

Склонение  $-62^{\circ} 40' 46''$

Задача 11. Можно ли увидеть Проксиму Центавра в Северном полушарии. Если да, то где?

Задача 12. Определите разрешение человеческого глаза, приняв длину волн видимого излучения равной 555 нм.

Задача 13. В первоначальном проекте телескопа Хаббла предполагался размер главного зеркала 3 м. Определите его разрешение, приняв длину волн видимого излучения равно 555 нм.

Задача 14. Определите разрешение телескопа «РАТАН-600» на длине волны 18 см.

Задача 15. Каким разрешением должен обладать телескоп, чтобы с его помощью с Земли можно было увидеть Большое Красное Пятно Юпитера (его размер порядка 16 тыс км)?

На зачете проверяются результаты освоения дисциплины по индикаторам ИОПК 2.2, ИПК 1.1.

Результаты зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Для получения оценки «отлично» необходимо ответить на вопросы билета и решить задачу, для получения оценки «хорошо» достаточно ответить на теоретические вопросы. При ответе только на один из вопросов билета выставляется оценка «удовлетворительно». Выполнение лабораторной работы является допуском к зачету.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=24850>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

г) Методические указания по проведению лабораторных работ.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Ковалевский Ж. Современная астрометрия. Фрязино. «Век 2», 2004. 480 с.
2. Подобед В.В., Нестеров В.В. Общая астрометрия. М.: Наука, 1982.
3. Блажко С.Н. Курс практической астрономии. М.: Ф.-М., 1989.
4. Подобед В.В. Фундаментальная астрометрия. М.: Наука, 1985. Витязев В.В. Анализ астрометрических каталогов с помощью сферических функций.— СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2017. 224 с.
5. Островский А. Б. Учебная практика по астрометрии. Учебно-методическое пособие для студентов 2-го курса. Екатеринбург. 2015

б) дополнительная литература:

1. Куимов К.В. Современная астрометрия // Земля и Вселенная: Журнал. М., 2003. № 5. С. 23–34.
2. Основы эфемеридной астрономии. Абалакин В. К., Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», М., 1979. 448 с.

3. Izmailov I.S., Khovricheva M.L, Khovrichev M.Yu. et al.: Astrometric CCD observations of visual double stars at the Pulkovo Observatory // Astronomy Letters. V. 36. Is. 5, P. 349–354.

в) ресурсы сети Интернет:

[www.astronet.ru](http://www.astronet.ru)

[https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb\\_lookup.html#/](https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html#/)

[https://minorplanetcenter.net/db\\_search](https://minorplanetcenter.net/db_search)

### **13. Перечень информационных технологий**

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); Программа Izmcdd.

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –  
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –  
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

в) профессиональные базы данных:

– База данных NASA [https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb\\_lookup.html#/](https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html#/)

– База данных центра малых планет [https://minorplanetcenter.net/db\\_search](https://minorplanetcenter.net/db_search)

### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

### **15. Информация о разработчиках**

Галушина Татьяна Юрьевна, к.ф.-м.н., Томский государственный университет, доцент